مجموعه مقالات هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

مقاله شماره ۱۴

موضوع :

«کم آبیاری تنظیم شده»، اهمیت و ضرورت آن در شرایط ایران

توسط :

جمشید خیرابی ، سیداسدا... اسدالهی ، محمدرضا انتصاری

علیرضا توکلی و علیرضا سلامت

گروه کاری نیاز آبی گیاهان و مدیریت محصولات زراعی

کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

چکیده :

یکی از اهداف آبیاری ، بدانگونه که درتعریف علمی و مهندسی آن آمده است «استفاده حداکثر از واحد حجم آب» در شرایط محدودیت منابع آب می‌باشد. دراین حالت جیره کاهش داده می‌شود، و بجای «آبیاری کامل »، کم آبیاری صورت می‌پذیرد. آثار تبعی و طبیعی کم آبیاری کاهش عملکرد است. تحقیقات محلی، و استفاده از مدلها وتوابع تجربی - ریاضی «مصرف آب - عملکرد » میزان کاهش را به ازای سطوح مختلف کم آبیاری نشان می‌دهد. در «کم‌آبیاری کلاسیک»برای‌اینکه‌این‌کاهش حداقل باشدبرنامه‌ریزی‌آبیاری، مدیریت و تمهیدات زراعی بگونه‌ای خاص صورت می‌پذیرد که آنرا «کم آبیاری تنظیم شده» (REGULATED DEFICIT IRRIGATION) می‌نامیم.

در روش «کم آبیاری»، با آب صرف جوئی شده، می‌توان سطح کشت را گسترش داد و عملکرد کل را افزایش داد. اینکه «کم آبیاری» تاکجا باید پیش برود و در چه سطحی باید متوقف شود؟ موضوع بهینه سازی آن است تااینکه حداکثر عملکرد و سوددهی را تضمین نماید.

در شرایط ایران بعلت محدودیت منابع آب، «کم آبیاری تنظیم شده»، و بهینه سازی آن که همانا استفاده حداکثر از واحد حجم آبست امر ضروری است، و لازم است در طراحی همه پروژه‌ها مورد توجه قرار بگیرد. برای اینکار، بر اساس تحقیقات محلی و مدلهای کلاسیک توابع «مصرف آب-عملکرد» تنظیم و تحلیل می‌شود و "کم آبیاری،" متناسب با شرایط پروژه، چه از نظر عملکرد و چه از نظر سود خالص بهینه سازی می‌شود. در این مقاله پس از بحث در مورد کم آبیاری تنظیم شده، و تاکید بر اهمیت و ضرورت آن در شرایط ایران جدیدترین ، وکاراترین مدلهای بهینه سازی توضیح داده شده، و مثالی ارائه گردیده است.

در مقاله‌ای تحت عنوان «تعریف علمی، مهندسی آبیاری» آمده است:

«آبیاری به عنوان تکنیک مهندسی ، عبارتست از تامین کمبود نیاز آبی سطوح تحت کشت محصولات کشاورزی و کشتهای آبی مکانیزه ، بطوریکه با توجه به شرایط اقتصادی ، فنی ، اجتماعی ، طبیعی و غیره ، و با رعایت کلیه اصول ، مبانی و مفاهیم زراعی ، و با استفاده از مناسبترین دستاوردهای تکنولوژی معاصر، و با حفظ و حراست کامل ودایم از آب و خاک ، محیط طبیعی و عرصه کشت گیاهی، بتوان آب را - و هوا را، به موقع - و به اندازه در اختیار گیاه قرار داد، بطوریکه حداکثر استفاده از واحد حجم آب (در شرایطی که آب کم است) و یا از واحد اراضی (در شرایطی که زمین کم است) به عمل آید. هدف نهائی آبیاری رشد بهینه کشتهای آبی ، بالارفتن راندمان محصولات کشاورزی، گسترش عمرانهای محلی ، منطقه‌ای و ملی است ، به طوریکه اقتصاد اصیل و برنامه‌ریزی شده در زمینه کشاورزی رونق گیرد و فرهنگ سالم روستائی شکوفا گردد».

در این تعریف کلاسیک بسط فراز مربوط به «.... تامین کمبود نیاز آبی سطوح تحت کشت ...» موضوع «آبیاری‌کامل»، مباحث وتعاریف مربوط به تبخیر تعرق واقعی، پتانسیل ، پتانسیل ماگزیمم، باران موثر، ضریب رشد گیاهی، و راندمانهای آبیاری است. بیان ماهوی و معنائی آنهم همانا استفاده حداکثر از واحد اراضی در شرایط محدودیت زمین است که در اینصورت آبیاری بصورت کامل انجام می‌شود و آب موردنیاز، زمان آبیاری ، جیره آبیاری و فواصل آن طبق موازین کلاسیک و پایه تعیین می‌گردد.

فراز دیگر، مربوط به استفاده حداکثر از واحد حجم (در شرایطی که آب کم است) موضوع «کم آبیاری» است که درمقدمه نشریه شماره یک گروه آب مورد نیاز گیاهان و مدیریت محصولات زراعی (موضوع خلاصه مقالات کم آبیاری) و مقدمه نشریه شماره دو این گروه (موضوع دستورالعملهای کم آبیاری)، به تفصیل از آن سخن رفته، و انواع آن تبیین گردیده است.

آبیاری در مفهوم علمی و مهندسی خود، بدانگونه که تعریف شد، دارای دو هدف اصلی، بعنوان دو رکن اساسی است، که در دور استای مستقل از هم ، و با دوجهت گیری متفاوت، و به تمام مغایر با یکدیگر دنبال می‌شود، وبسته به شرایط، یکی از دو هدف زیر انتخاب و پیگیری می‌گردد:

حالت اول: در مناطقی که محدودیت اراضی عامل غالب به حساب می‌آید با هدف «استفاده حداکثر از واحد اراضی».

حالت دوم: در شرایطی که آب عامل محدود کننده است، با هدف «استفاده حداکثر از واحد حجم آب ».

میزان اهمیت هر یک از این اهداف دو گانه، برای برنامه ریز، همیشه و همه جایکسان نیست، و بسته به موقعیت زمانی ومکانی دارای درجاتی است و به شرایط طرح بستگی دارد.

مهمترین مولفه تشدید، در حالت اول ، مربوط به مناطقی است که محدودیت زمین توام با فراوانی آب باشد، و درحالت ثانی مربوط به شرایطی است که محدودیت آب بازیادت زمین همراه باشد.

بطوریکه اعتلاء درجات اهمیت هر یک از اهداف و شدت آن مربوط به دامنه حدهای فراوانی «آب» و «خاک» ، و درجه واگرائی، و فاصله موجود بین این حدهااست.

در یک منطقه اگر نسبت آب به اراضی را ضریب فراوانی $\frac{\text{آب}}{\text{زمین}}$ بنامیم، این ضریب در حالت اول بزرگتر از واحد و در حالت دوم کوچکتر از واحد خواهد بود.

در هر یک از حالتهای دوگانه فوق هر چه این ضریب از واحد فاصله بگیرد و دوری گزیند شدت اهمیت هدف مربوطه بیشتر خواهد بود. لذا سیاستگزاریها، برنامهٔ ریزیهای آب و آبیاری، تعیین یکی از دو هدف مزبور و تاکید بر شدت آن، تعیین اولویتها، مدیریت آب، و به تبع آن انتخاب روشها، مدلها و سیستم‌ها، محاسبه ، مشاهده و کنترل دائم (MONITORING) و غیره ، در شرایطی که کمبود اراضی وجود دارد (حالت اول) با شرایط کمبود آب (حالت دوم) به تمام متفاوت، و چه بسا مغایر است. لذا در برنامه ریزیهای آبیاری، اعم از سطح ملی، استانی، منطقه‌ای و محلی، لازم است به این جهت گیری، متناسب با درجات شدت هدف مربوطه و تناسب کمبود یا فراوانی هر عامل نسبت به دیگری، و« ضریب فراوانی $\frac{\text{آب}}{\text{زمین}}$» وزن و بهائی در خور داده شود، که بنا به ضرورت ذیلاً بیشتر تشریح می‌گردد.

۱- ضریب فراوانی آب به زمین > ۱:

درمناطق مرطوب «ضریب فراوانی $\frac{\text{آب}}{\text{زمین}}$» بزرگتر از واحد است ومقدار آن ازنقطه‌ای به نقطه دیگر متفاوت می‌باشد. هر چه این ضریب بزرگتر باشد هدف اول در راستای «استفاده حداکثر از واحد اراضی» تشدید می‌گردد و برجسته تر می‌شود.

۲- ضریب فراوانی آب به زمین < ۱:

بعکس درمناطق خشک و نیمه خشک، این ضریب بسیار کمتر از واحد است. در چنین شرایطی هدف دوم در راستای «استفاده، حداکثر ازواحد حجم آب» دنبال می‌شود.

در شرایط ایران اهمیت این موضوع با توجه به اولویت کشاورزی و بالا بودن ضریب رشد جمعیت، و بسیاری مولفه‌های دیگر باز هم بیشتر است.

۱- اهمیت و ضرورت کم آبیاری در شرایط ایران :

درایران ضریب فراوانی آب به زمین بسیار پائین است، بطوریکه با فرض استحصال حداکثر آب بمیزان ۱۲۰ میلیارد متر مکعب، و با فرض متوسط آب مورد نیاز خالص برای هر هکتار معادل ۵۰۰۰ متر مکعب در سال، و

متوسط راندمان آبیاری ۵۰٪، ضریب فراوانی آب به زمین ، در کل کشور و در شرایط ایده آل ، حدود ۰/۲۴ بدست می‌آید، در صورتیکه در حال حاضر این ضریب (با توجه به ۶/۵ میلیون هکتار کشت آبی و ۵۰ میلیون هکتار پتانسیل اراضی قابل آبیاری) حدود ۰/۱۳ ، و رقم بسیار پائینی است. بنابراین استفاده از «کم آبیاری» امر بسیار ضروری است.

نسخه پیچی نظری کم آبیاری حدود چهاردهه پیش توسط زنده یاد مهندس روح ا... فرزانه بنیان گذار آبیاری و آبادانی (AGRICULTURAL ENGINEERING) در آموزش عالی کشور، استاد و مدیر سابق این گروه در دانشگاه تهران، در قالب «راندمان ذخیره» صورت پذیرفت، و از آن پس نیز توسط شاگردان ایشان، تحت این عنوان مورد تدریس و تحقیق قرار گرفت، و در دو دهه اخیر، تحت عنوان تنش رطوبتی، به بسیاری از برنامه های آموزشی و پژوهشی دانشگاهها و پاره‌ای مراکز تحقیقاتی تسری پیدا کرد، ولی در بخش اجرا، (بااینکه پس از گذشت چند دهه، اخیراً جرقه‌هائی از بارقه امیدبچشم می‌خورد) هنور هم «کم آبیاری» در مفهوم دقیق آن، بدانگونه که شایسته ضرورتهای جدی است، جا نیفتاده است.

توضیح اینکه درایران از اوایل سده چهاردهم (هـ‌ش) که عصر آبیاری نوین آغاز شد، تاکنون آبیاری ، و پروژه‌های بزرگ و کوچک آبی، نه بعلت ضرورت بلکه بصورت عادت، همواره و همه جا بر اساس معیارهای «آبیاری کامل» مبتنی بر مفاهیم تبخیر تعرق پتانسیل ماگزیمم «ET_o یا ET_{pmax} یا ET_r»، تبخیر تعرق محصول (ET_c یا ET_p)، ضرائب گیاهی (K_c)، باران موثر (R_e) و راندمان آبیاری (E_a) اجرا شده است که به دو دلیل زیر صلاح کار نبوده است:

۱ - «آبیاری کامل» در شرایطی انجام می‌شود که هدف «استفاده حداکثر از واحد اراضی » باشد، و این روش، همانگونه که گفته شد، مشمول و درخور مناطقی است که در آنها «ضریب فراوانی آب به زمین بیشتر از واحد باشد.»

۲ - «آبیاری کامل» با «هدف استفاده حداکثر از واحد اراضی»، در هر حالت، به شرطی موجه و معقول است که همراه با آبیاری کامل سایر عوامل تولید، علل و اسباب کشت و کار و شرایط کاشت و داشت در حد کمال باشد، والا این شیوه آبیاری جز هدر دادن آب حاصلی نخواهد شد.

این هر دو شرط در اکثر نقاط ایران و در اکثر حالات برقرار نبوده و نیست. چراکه در مورد شرط نخست همانگونه که ذکر شد، «ضریب فراوانی آب به زمین » بسیار کمتر از واحد است و در مورد شرط ثانی نیز، جز آبیاری که بطور کامل انجام گرفته است، بقیه شرایط زراعی و عوامل موثر در عملکرد در حد کمال نبوده است. بطوریکه طی اینهمه سال عملکرد کشتهای آبی ایران نسبت به استانداردهای بین المللی بسیار پائین بوده است.

با و جود این، در ایران، وطی اینهمه سال، آبیاری کامل بصورت عادت ناهنجار درآمده و تکرار شده است. در گذشته عامل، کمی جمعیت ، درآمدهای کلان نفتی، امکان تهیه سهل و ساده و ارزان‌قیمت مواد غذائی از بازارهای بین المللی به این غفلت مسئولان و سهل انگاری کارشناسان طراح دامن زده است.

خوشبختانه اینک در سطح اجرا و در میان مسئولان طراز اول صنعت آب کشور مفهوم « استفاده حداکثر از واحد حجم آب» که روی دیگر سکه «کم آبیاری » است بتدریج جای خود را پیدا می‌کند. امیداینکه این تفکر متعالی هر چه بیشتر جا بیفتد و برنامه‌ریزیها، سیاستگزاریهای آب و آبیاری را به تمام متاثر سازد، و دراین میان بر کارشناسان و مراجع علمی، تحقیقاتی، آموزشی، از جمله بر کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، محافل و مجامع علمی و کارگاهها و سمینارها است که به این جا افتادن کمک رساند.

۲- بهینه سازی و تحلیل اقتصادی کم آبیاری:

در بهینه سازی و ارزیابی «اقتصادی کم آبیاری» تغییرات کل عملکرد، مبتنی بر افزایش سطح زیرکشت (با آب صرفه جوئی شده) از یکسو، و تغییرات سود خالص مبتنی بر تفاضل هزینه‌ها و در آمدها از سوی دیگر، بعنوان دو محور اساسی در نظر گرفته می‌شوند. جهت و شدت این تغییرات تابع بسیاری از فاکتورهای موثر، مثل روش آبیاری، سطح و درجه کم آبیاری (میزان مصرف آب)، برنامه ریزی و مدیریت آبیاری، استفاده و یا عدم استفاده از آب صرفه جوئی شده برای گسترش سطح زیر کشت، عوامل جوی، هزینه‌های آب و آبیاری و تولید، قیمت محصول ، درآمد کل وغیره است. برخی از این عوامل تحت کنترل مدیر مزرعه و برخی دیگر مثل نیوار خارج از کنترل اوست.

«کم آبیاری» آنگاه بعنوان روش کلاسیک، و مطابق موازین فنی و مهندسی تلقی می‌شود که در آن کلیه شرایط بگونه‌ای فراهم شود که گیاه از کم آبی کمترین صدمه را تحمل نماید. باین نوع کم آبیاری «کم آبیاری تنظیم‌شده» REGULATED DEFICIT IRRIGATION می‌نامیم.در کم آبیاری تنظیم شده، یکی از مهمترین و در عین‌حال مشکلترین مراحل کار، بهینه سازی آن از نظر عملکرد و یا سود خالص است. در کم آبیاری تنظیم شده باید به این پرسش پاسخی در خود داده شود که حد بهینه کم آبیاری کجا است و چگونه است؟ بطوریکه به ازای افزایش سطح کشت (با آب صرفه‌جوئی شده) عملکرد، و یا سود خالص ماگزیمم باشد.

برای اینکار لازم است :

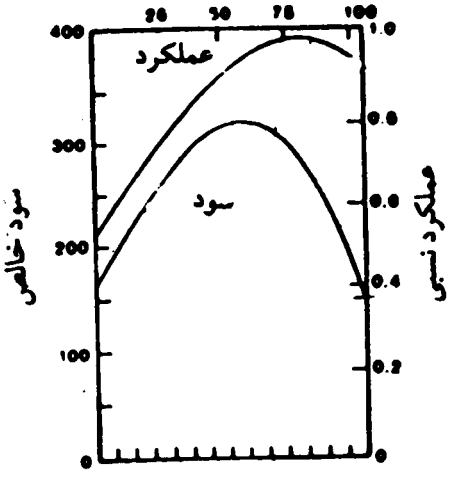
۱ - افت عملکرد در رابطه با مصرف آب (سطوح مختلف کم آبیاری) بر اساس تحقیقات محلی روشن شود.

۲ - کل هزینه‌ها و در آمدها، درهر طرح، طبق موازین علم اقتصاد کشاورزی مشخص گردد.

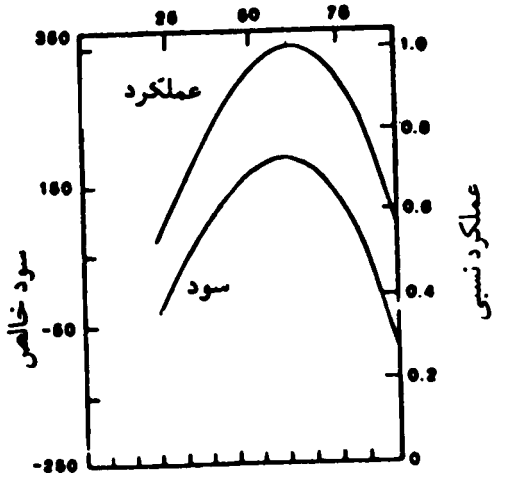
۳- با استفاده از مدلها و روابط «تجربی-ریاضی»، توابع تغییرات «مصرف آب-عملکرد» - «مصرف‌آب - سود خالص»برقرار شود و منحنی‌های مربوطه در روی یک محور مختصات ترسیم، و آنگاه روند صعود و نزول آنها، ضریب زاویه، نقاط ماگزیمم منحنی‌ها از نظر تقدم و تاخر نسبت بهم، بررسی و مورد تجزیه و تحلیل و نتیجه‌گیری قرار بگیرد.

در زیر نمونه‌هائی از این توابع، برای دو طرح «کم آبیاری تنظیم شده»، که توسط آقای هارگریوز مطالعه شده، آمده است (شکل ۱ و ۲)

آب مصرفی بر حسب سانتیمتر



شکل ۱



شکل ۲

شکل ۱ و۲ : توابع «آب مصرفی- عملکرد» و «آب مصرفی - سود خالص» در دو طرح کم آبیاری ۱ و ۲

بطوریکه مشاهده می‌شود ماگزیمم عملکرد همیشه منطبق با ماگزیمم سود خالص نیست.

دراین منحنی‌ها نقطه شروع- جهت شیب (صعودی و یا نزولی) - شدت و تندی شیب (ضریب زاویه) - نقاط ماگزیمم و تقدم و تاخر آنهانسبت به یکدیگر، مولفه‌هائی هستندکه بر اساس آنها تجزیه و تحلیل لازم ، و نتیجه‌گیری و بهینه سازی کم آبیاری انجام می‌شود.

۳-مدلهائی «تجربی- ریاضی» جهت برپائی‌توابع «مصرف آب-عملکرد» و «مصرف‌آب - سود»

مدلهائی جهت برقراری رابطه بین مصرف آب و عملکرد و یا سود خالص، و ترسیم منحنی‌ها تغییرات عملکرد و سود با سطوح مختلف کم آبیاری، توسط اساتید فن چون جنسن (JENSEN 1966) - مین هاس (MINHAS, 1974) استوارت - (STEWART , 1974) ، همکاران و دیگران ، برای شرایط مختلف پیشنهاد شده است که در آنها با در دست داشتن افت عملکرد بازای سطوح مختلف کم آبیاری (براساس تحقیقات محلی)، تبخیر تعرق واقعی (REAL EVAPOTRANSPIRATION) و تبخیر تعرق پتانسیل (POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION) - عملکرد ماگزیمم بازای تبخیر تعرق پتانسیل (آبیاری‌کامل)، راندمان آبیاری (آب مصرفی)- هزینه‌های تولید در واحد سطح ، درجه محدودیت آب و یا محدودیت عوامل کاربرد و بکارگیری آن، قیمت آب، و کل در آمدها (در واحد سطح) و غیره، توابع «مصرف آب - عملکرد » - «مصرف آب - سود خالص» برقرار می‌گردد. براساس تجزیه و تحلیل این توابع ومنحنی‌ها و نتیجه‌گیری های لازم از

آن، برای هر طرح و پروژه، متناسب با شرایط، عمل بهینه سازی که مهمترین اقدام در امر «کم آبیاری تنظیم‌شده» برای دفاتر فنی و محافل مهندسی، و طراحان بحساب می‌آید، صورت می‌گیرد.

ذیلاً یک مدل ساده ، خطی که توسط استوارت ارائه گردیده، پیشنهاد شده است، و مدل کاملتری که توسط انگلیش پیشنهاد شده است تشریح می‌گردد. نظر به اهمیت مدل انگلیش مثالی هم در این مورد حل، و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

۳/۱- مدل استوارت (STEWART, 1974)

این مدل که توسط آقای استوارت پیشنهاد شده، و توسط آقایان دورنبوس (DOORENBOS) و کاسام (KASSAM) تصحیح گردیده است بقرار زیر نوشته می‌شود:

$$۱ - \frac{Y_a}{Y_{max}} = K_y \left(۱ - \frac{ET_a}{ET_{max}} \right)$$

که در آن :

Y_a : عملکرد محصول درشرایط کم آبیاری (تبخیر تعرق واقعی ET_a) است .

Y_{max} :عملکرد محصول در شرایط آبیاری کامل (تبخیر تعرق پتانسیل ET_{max}) است

K_y : ضریبی است که درجه کاهش عملکرد را به تبخیر تعرق واقعی مرتبط می‌سازد.

این رابطه خطی است و در بسیاری از شرایط ، و موارد، بعنوان راه حل ساده وکاربردی مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی برای پروژه‌های بزرگ مدل انگلیش توصیه می‌شود که کامل و جامع است، و پارامترهای بیشتری را منظور می‌کند و معادله را در دو حالات محدودیت اراضی و منابع آب حل می‌نماید.

۳/۲ مدل انگلیش وهمکاران (English et al , 1990):

این مدل که‌الگوریتمی برای‌استفاده‌بهینه از آب برای‌محصول است توسط انگلیش وارلوب(English & orlob) ارائه شده است. مدل بهینه سازی را در دو حالت زیر در نظر می‌گیرد:

الف) بهینه سازی هنگامی که زمین محدود است.

ب) بهینه سازی هنگامی که آب محدود است.

توضیح اینکه در شرایطی هم که یک عامل وابسته به آب محدود باشد این امر به مثابه محدودیت آب بحساب می‌آید. برای مثال محدودیت انرژی قابل دسترس ،همانند محدودیت در میزان آب قابل پمپاژ محسوب می‌گردد.

آقای انگلیش این مدل، و روابط مربوطه را براساس پارامترهای تعریف شده زیر طراحی و ارائه نمود:

A : کل سطح زیرکشت و تحت آبیاری بر حسب هکتار.

WT : کل آب تامین شده بر حسب متر مکعب.

W : مقدار آب مصرفی برای واحد سطح مزرعه بر حسب متر مکعب در هکتار.

y (W): عملکرد درواحد سطح، تابعی از آب مصرفی برحسب کیلوگرم در هکتار.

c (W) : هزینه‌های تولید درواحد سطح ، تابعی از آب مصرفی برحسب واحد پول .

P_c : قیمت واحد وزن محصول (کیلوگرم) برحسب واحد پول .

i_l (W): درآمد خالص از واحد سطح برحسب واحد پول در هکتار.

I_f(W) : درآمد خالص مزرعه از کل اراضی آبیاری شده برحسب واحد پول .

I_f(W) براساس تابعی از درآمد خالص از واحد سطح تحت آبیاری به قرار زیر بدست می‌آید:

$$I_f(W) = A \cdot i_l (W) \qquad (۱)$$

درآمد خالص از هر هکتار تابعی از قیمت محصول، عملکرد، هزینه‌ها و آب مصرفی است.

$$i_l(W) = P_c y (W) - c(W) \qquad (۲)$$

سطح آبیاری شده (A)، ممکن است، تابعی از آب مصرفی باشد. بدین معنی که اگر منابع آب محدود باشد، مدیر مزرعه می‌تواند زمین کافی را تحت آبیاری قرار دهد، مشروط به اینکه با استفاده از "کم آبیاری" سطح زیرکشت را با میزان مصرف آب هماهنگ نماید.

با توجه به کل حجم آب تامین شده و عمق آب مصرفی در برنامه ریزی کم آبیاری ، کل سطح آبیاری شده برحسب هکتار از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$A = \frac{WT}{W} \qquad (۳)$$

تبصره: مساحت A بسته به اینکه آبیاری بطور کامل، و یا بصورت کم آبیاری انجام بگیرد متفاوت خواهد بود و به سطح کم آبیاری بستگی خواهد داشت.

مقدارآب مصرفی‌که عملکرد ماکزیمم رابهمراه دارد(W_m) ، می‌تواند بامشتق گیری ازتابع تولید ، تخمین‌زده شود:

$$\frac{\partial y(W)}{\partial W} = 0 \qquad (۴)$$

برای تعیین مقدار آب مصرفی که سود خالص را در شرایط محدودیت زمین به ماکزیمم می‌رساند، از معادله (۱)، بر حسب W، مشتق جزئی گرفته می‌شود:

$$\frac{\partial I_f(W)}{\partial W} = A \frac{\partial i_l(W)}{\partial W} + i_l(w)\frac{\partial A}{\partial W} \qquad (۵)$$

وقتی‌که زمین عامل محدوده کننده باشد، A ثابت فرض می‌شود و با مساوی صفر قرار دادن مشتق و حذف A ، مقدار بهینه آب مصرفی (W_l) ، با معادله زیر بیان می‌شود:

$$\frac{\partial i_l(W)}{\partial W} = 0 \qquad (۶)$$

این معادله مشتق معادله (۲) است که مساوی صفر قرار داده شده است.

وقتیکه آب عامل محدودکننده است ، A تابعی از W است و همچنانکه ذکر شد مصرف بهینه آب (W_w) با معادله (۵) تعیین می‌گردد.

مشتقات معادله ، ۵ و ۶ بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{\partial i_l(W)}{\partial W} = P_c \frac{\partial y(W)}{\partial W} - \frac{\partial c(W)}{\partial W} = 0 \qquad (۷)$$

معادله برای اپتیمم آب مصرفی وقتیکه زمین محدوده کننده باشد(W_1)، به قرار زیر نوشته می‌شود:

$$P_c\frac{\partial y(W)}{\partial W} = \frac{\partial c(W)}{\partial W} \qquad (۸)$$

و زمانیکه بامحدودیت آب مواجه باشیم‌خواهیم داشت:

$$\frac{\partial I_f(W)}{\partial W} = 0 \qquad (۹)$$

و

$$A\frac{\partial i_l(W)}{\partial W} + i_l(W)\frac{\partial A}{\partial W} = 0 \qquad (۱۰)$$

وقتی که سطح زیر کشت تابعی از آب مصرفی باشد:

$$\frac{\partial A}{\partial W} = - \frac{WT}{W^2} \qquad (۱۱)$$

با جایگزینی درمعادله ۱۰ خواهیم داشت:

$$\frac{WT}{W}\left(P_c \frac{\partial y(W)}{\partial W} - \frac{\partial c(W)}{\partial W}\right) + \left(p_c\, y(W) - c(W)\right)\left(-\frac{WT}{W^2}\right) = 0 \qquad (۱۲)$$

و با ساده کردن معادله فوق:

$$W[P_c\frac{\partial y(W)}{\partial W} - \frac{\partial c(W)}{\partial W}] = P_c y(W) - c(W) \qquad (۱۳)$$

W ای که در معادله (۱۳) صدق می‌کند، W_W می‌باشد.

حل معادله ۸ و ۱۳ نسبت به W ، مقادیر آب مصرفی بهینه ، W_I و W_W را بدست می‌دهد. سمت چپ معادله ۸ بیانگر تولید و سمت راست این معادله ، بیانگر هزینه‌هاست .

برای بدست آوردن در آمد خالص از هر هکتار، کافی است عمق آب مصرفی مربوطه را در معادله ۲ قراردهیم.

برای مثال باجایگزینی W_m درمعادله ۲، درآمد خالص از یک هکتار مساحت تحت آبیاری بدست می‌آید:

$$i_I (W_m) = P_c\, y (W_m) - c (W_m) \qquad (۱۴)$$

و درآمد خالص در کل مساحت تحت آبیاری [illegible] زیر بدست می‌آید:

$$I \quad _m) = \frac{WT}{W_m}.\, i_I (W_m) \qquad (۱۵)$$

برای مثال اگر تابع تولید را به صورت معادله درجه ۲ و تابع هزینه‌ها را درجه یک فرض نمائیم، در اینصورت خواهیم داشت :

$$y(W) = a_1 + b_1W + c_1W^2 \qquad (۱۶)$$

$$c(W) = a_2 + b_2W \qquad (۱۷)$$

که y(W) , تابع تولید (عملکرد) و c(W), تابع هزینه‌ها است. و a_1 , b_1 , c_1 , a_2 وb_2 ضرائب ثابت رابطه می‌باشند که بر اساس نوع محصول و آب مصرفی و درآمدها و هزینه‌ها، بدست می‌آیند. W عمق آب مصرفی می‌باشد. با مشتق گیری از تابع تولید و مساوی صفر قراردادن آن، عمق آب مصرفی درآبیاری کامل (عملکرد ماکزیمم یا درآمد ناخالص ماکزیمم) بدست می‌آید:

$$\frac{\partial y(W)}{\partial W} = b_1 + 2c_1W = o \qquad (۱۸)$$

$$W_m = -\frac{b_1}{2c_1} \qquad (۱۹)$$

اپتیمم عمق آب مصرفی، وقتیکه آب محدودیت ندارد براساس معادله (۸) به قرار زیر بدست می‌آید:

$$W_1 = \frac{b_2 - P_c\, b_1}{2P_c\, c_1} \qquad (۲۰)$$

و

اپتیمم عمق آب مصرفی، وقتیکه با محدودیت آب مواجه هستیم براساس معادله ۱۳، بقرار زیر بدست می‌آید:

$$W_W = \left(\frac{P_c a_1 - a_2}{P_c\, c_1}\right)^{0.5} \qquad (۲۱)$$

باتوجه به منحنی توابع تولید وهزینه ، عمقی از آب مصرفی (W_{el}) وجود دارد که سود خالص ناشی از آن برابر سودخالص ناشی از آبیاری کامل (W_m)می‌شود.

$$W_{el} = \frac{b_2 - P_c b_1 + Z_1}{2P_c\, c_1} \qquad (۲۲)$$

$$Z_1 = [(P_c b_1 - b_2)^2 - 4P_c\, c_1 \left(\frac{P_c b_1^2}{4c_1} - \frac{b_1 b_2}{2c_1}\right)]^{0.5} \qquad (۲۳)$$

مثال کاربردی مدل انگلیش

این مثال بیانگر چگونگی کاربرد معادلات فوق می‌باشد و تحقیقی است که توسط انگلیش وهمکارانش در سال ۱۹۸۷ در حوضه کلمبیا (ایالات متحده)، برروی گندم زمستانه درمزارع مختلف انجام شده است. در این بررسی توابع ریاضی "آب‌مصرفی-عملکرد" و " آب مصرفی- هزینه‌ها" بدست آمده و عمق بهینه آب مصرفی در دوحالت محدودیت منابع آب و محدودیت زمین، تجزیه و تحلیل گردیده است.

کل عمق آب مصرفی سالیانه در آبیاری کامل برابر ۶۱۵ میلیمتر براساس مدل پنمن (کالیبره شده با شرایط محلی) بدست آمده است، لذا کل حجم آب مصرفی برحسب متر مکعب در هر هکتار ۶۱۵۰ متر مکعب خواهد بود.

در حالت بدون آبیاری (دیم)، عملکرد برابر ۱۹۵۰ کیلوگرم در هکتار بوده است.

تابع تولید از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$y(W) = ۱۴۴۵ + ۲۴۲/۱۳\, W - ۱/۹۶۹۵۴\, W^۲$$

که در آن:

y(W): عملکرد گندم بر حسب کیلوگرم در هکتاراست.

W : عمق آب مصرفی برحسب سانتیمتر است.

تابع هزینه براساس داده های جدول ۱ بصورت زیر بدست آمد:

$$c(W) = ۴۸۲/۳ + ۷/۷۹ W$$

که در آن c(W) کل هزینه‌های تولید می‌باشد.

(در ادامه محاسبات قیمت گندم (P_c) هر کیلو، ۱۵٪ دلار (۴۵۰ ریال) در نظر گرفته می‌شود.)

توابع تولید و هزینه در شکل‌های ۳ ، ۴ ،۵ ، ۶ و ۷ نشان داده شده است.

جدول ۱ - هزینه‌های ثابت و متغیرتولیددرهکتار (برحسب دلار آمریکا)

انواع هزینه‌ها	هزینه‌های تولید ($/ha)
۱ - هزینه‌های ثابت (سالیانه):	
- تجهیزات و لوازم آبیاری	۱۵۲/۳۶
- ماشین آلات مزرعه	۱۱۶/۲۳
- عملیات زراعی (شخم زدن ،کاربرد مواد شیمیائی و کاشت)	۱۱۴/۷۳
کل هزینه‌های ثابت	۳۸۳/۳۲
۲- هزینه‌های متغیر با دو سطح عملکرد:	
الف - بدون آبیاری:(تولید ۱۹۵۰ کیلوگرم در هکتار).	
- هزینه کودنیتروژنه ،۲۲/۵ کیلوگرم در هکتار	۲۸/۷۰
(از قرار هر کیلوگرم ۱/۲۷۶ دلار)	
- بذر	۶/۹۲
- هزینه‌های برداشت	۶۳/۳۶
کل هزینه‌هامتغیر در حالت دیم (بدون آبیاری)	۹۸/۹۸
ب- باآبیاری :(۴/۲ سانتیمتردر هرنوبت و با دهنوبت‌آبیاری)	
(تولید ۸۱۳۸ کیلوگرم درهکتار)	
- هزینه‌های آبیاری	۱۳۷/۵۹
-کود نیتروژنه ، ۱۱۷/۹ کیلوگرم در هکتار	۱۵۰/۴۴
(از قرار هر کیلوگرم ۱/۲۷۶ دلار)	
- بذر	۲۹/۶۵
- هزینه‌های برداشت	۱۰۹/۷۶
کل هزینه‌های متغیر در حالت آبیاری	۴۲۷/۴۴

کل هزینه‌های تولید (برای یک هکتار، و برحسب دلار آمریکا) از حاصل جمع هزینه‌های ثابت و متغیر بدست می‌آید:

کل هزینه‌های تولید در شرایط بدون آبیاری = ۳۸۳/۳۲ + ۹۸/۹۸ = ۴۸۲/۳۰ ($/ha)

کل هزینه‌های تولید در شرایط آبیاری = ۳۸۳/۳۲ + ۴۲۷/۴۴ = ۸۱۰/۷۶ ($/ha)

باتوجه به تابع هزینه‌های تولید:

$$c(W) = a_2 + b_2W$$

بامحاسبات فوق و براساس داده‌های جدول ۳۰۲ کل هزینه‌های تولید به قرار زیر بدست می‌آید:

$$c(W) = ۸۱۰/۷۶ \text{ کل هزینه‌های تولید}$$

$$a_2 = ۴۸۲/۳۰$$

و با قراردادن در رابطه فوق:

$$۸۱۰/۷۶ = ۴۸۲/۳۰ + b_2\,(۴۲/۲)$$

و بدین ترتیب ضریب زاویه خط هزینه (b_2) بدست می‌آید:

b_2=۷/۷۹

و در نتیجه تابع هزینه‌های تولید بصورت زیرنوشته می‌شود:

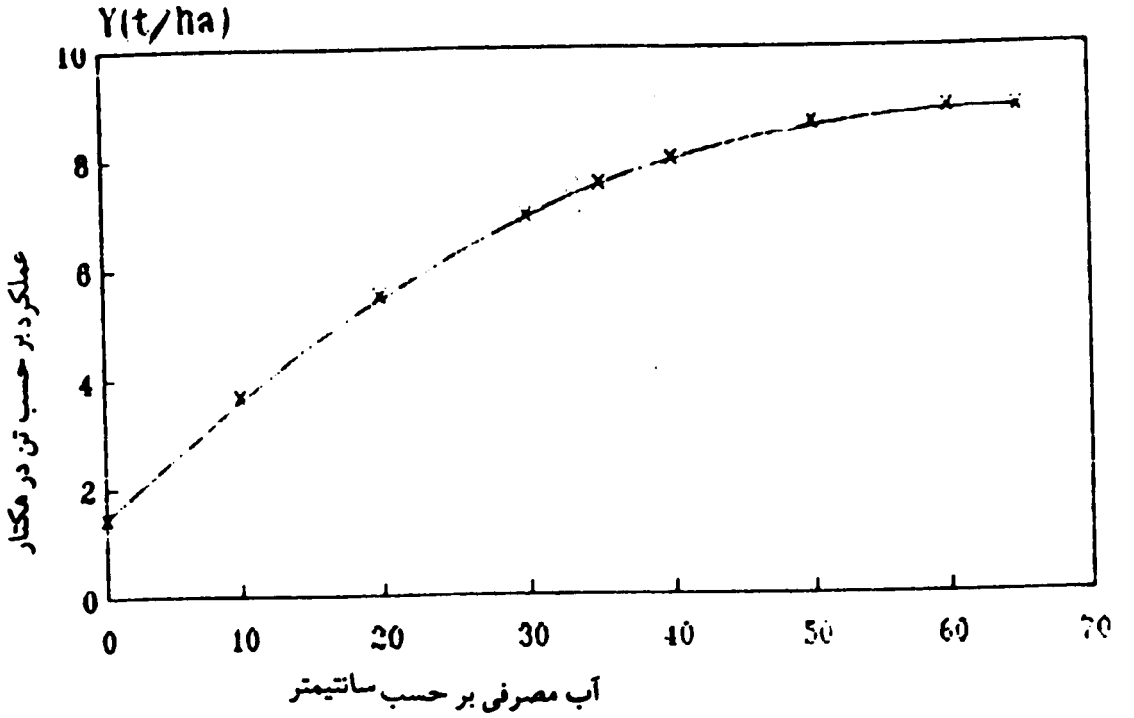
$$c(W) = ۴۸۲/۳ + ۷/۷۹\ W$$

ماکزیمم عمق آب مصرفی برای دستیابی به عملکرد ماکزیمم (W_m):

$$W_m = -\frac{b_1}{2c_1} = -\frac{۲۴۲/۱۳}{۲(-۱/۹۶۹۵۴)} = ۶۱/۵\text{cm}$$

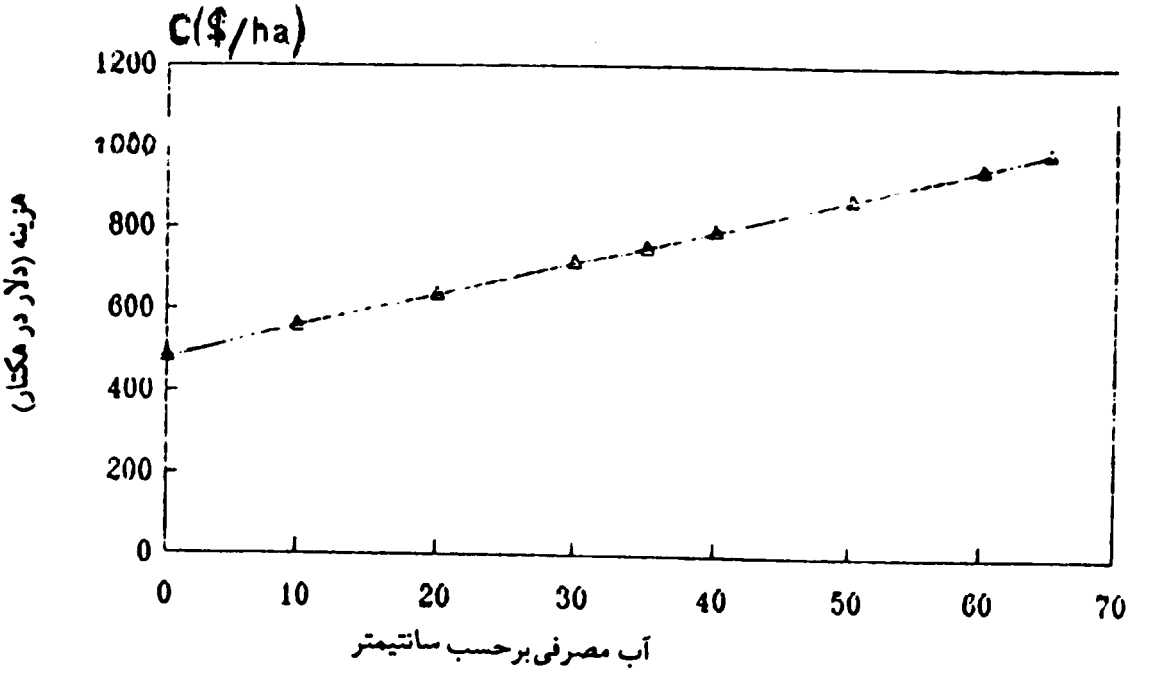
عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت زمین (W_l) به قرار زیر بدست می‌آید:

$$y(W) = a_1 + b_1W + c_1W^2$$



شکل ۳ - رابطه بین عمق آب مصرفی با عملکرد (درآمد ناخالص)

$$c(W) = a_2 + b_2W$$

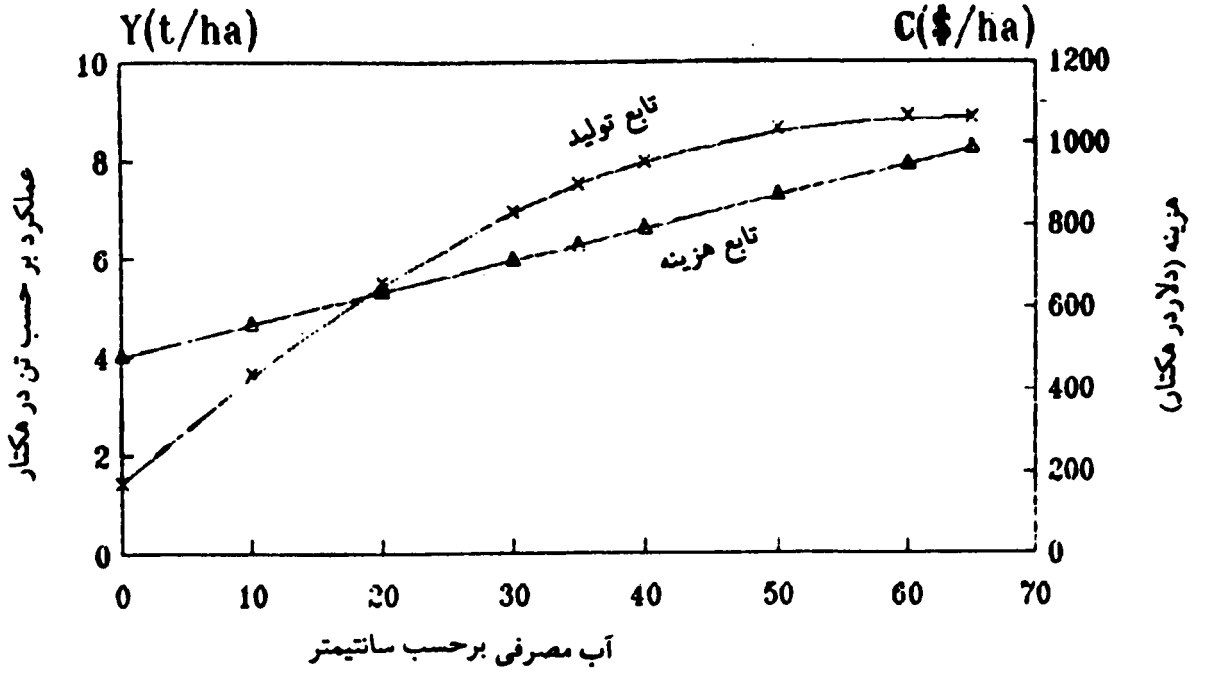


شکل ۴ - رابطه بین عمق آب مصرفی و هزینه‌ها

$$W_1 = \frac{b_2 - p_c b_1}{2 p_c c_1} = \frac{۷/۷۹ - ۰/۱۵ \times ۲۴۲/۱۳}{۲(۰/۱۵)(-۱/۹۶۹۵۴)} = ۴۸/۲cm$$

عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت آب(W_w):

$$W_w = \left(\frac{P_c a_1 - a_2}{P_c c_1}\right)^{0.5} = \left[\frac{۰/۱۵ \times ۱۴۴۵ - ۴۸۲/۳}{۰/۱۵ \times (-۱/۹۶۹۵۴)}\right]^{۰/۵} = ۳۰cm$$



شکل ۵- رابطهٔ بین عمق آب مصرفی با هزینه و عملکر-

برای بدست آوردن عمق معادل آبیاری کامل، ابتدا مقدار Z_1 را محاسبه می‌نمائیم.

$$Z_1 = [(p_c b_1 - b_2)^2 - 4 P_c c_1 (\frac{P_c b_1^2}{4c_1} - \frac{b_1 b_2}{2c_1})]^{0.5}$$

$$Z_1 = ۷/۷۹$$

عمق معادل آب مصرفی که سودناشی از آن برابر کاربرد ماکزیمم عمق آب مصرفی است، به قرار زیر محاسبه می‌شود:

$$W_{e1} = \frac{b_2 - p_c b_1 + Z_1}{2 p_c c_1} = \frac{۷/۷۹ - ۰/۱۵ \times ۲۴۲/۱۳ + ۷/۷۹}{۲(۰/۱۵)\ (-۱/۹۶۹۵۴)} = ۳۴/۶\text{cm}$$

$$We1 \cong ۳۵\ \text{cm}$$

جدول ۲ رابطه بین عملکرد، هزینه و سود خالص با آب مصرفی

ردیف	عمق آب مصرفی W (cm)	عملکرد y(W) (Kg/ha)	هزینه c(W) ($/ha)	il(W)=P$_c$y(W)- c(W) سود خالص ($/ha)
۱	۰	۱۴۴۵	۴۸۲/۳	-۲۶۵/۵۵
۲	۱۰	۳۶۶۹	۵۶۰	-۹/۶
۳	۲۰	۵۴۹۹	۶۳۸	۱۸۷
۴	۳۰	۶۹۳۶	۷۱۶	۳۲۴
۵	۳۵	۷۰۶	۷۵۵	۳۷۱
۶	۴۰	۷۹۷۹	۷۹۴	۴۰۳
۷	۴۸/۲	۸۵۴۰	۸۵۸	۴۲۳
۸	۶۱/۵	۸۸۸۶	۹۶۱	۳۷۱
۹	۷۰	۸۷۴۳	۱۰۲۷	۲۸۴

تعبیر وتفسیر جدول فوق :

۱) باافزایش عمق آب مصرفی ، میزان عملکرد تا حدمشخصی صعودی و سپس نزولی می‌شود.

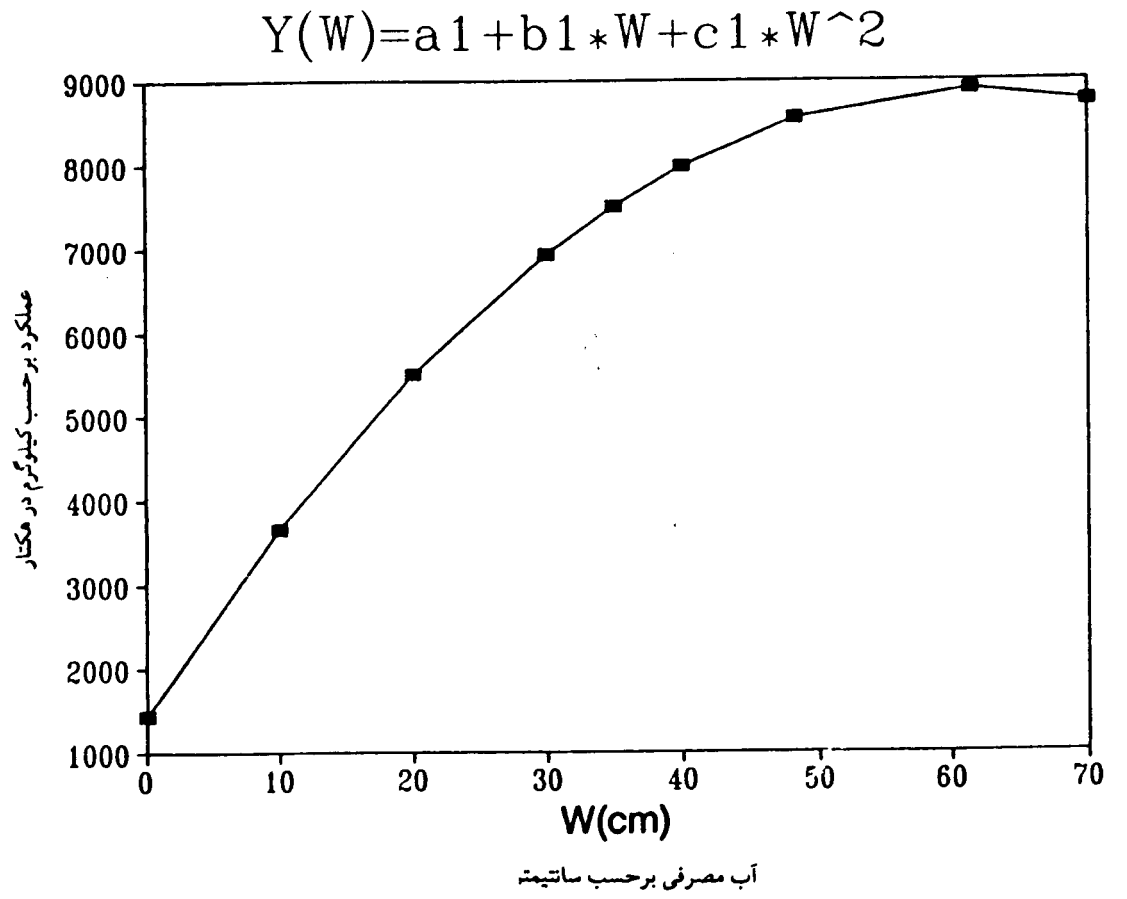
۲) باافزایش عمق آب مصرفی، میزان هزینه‌ها یک روند صعودی را طی می‌کند.

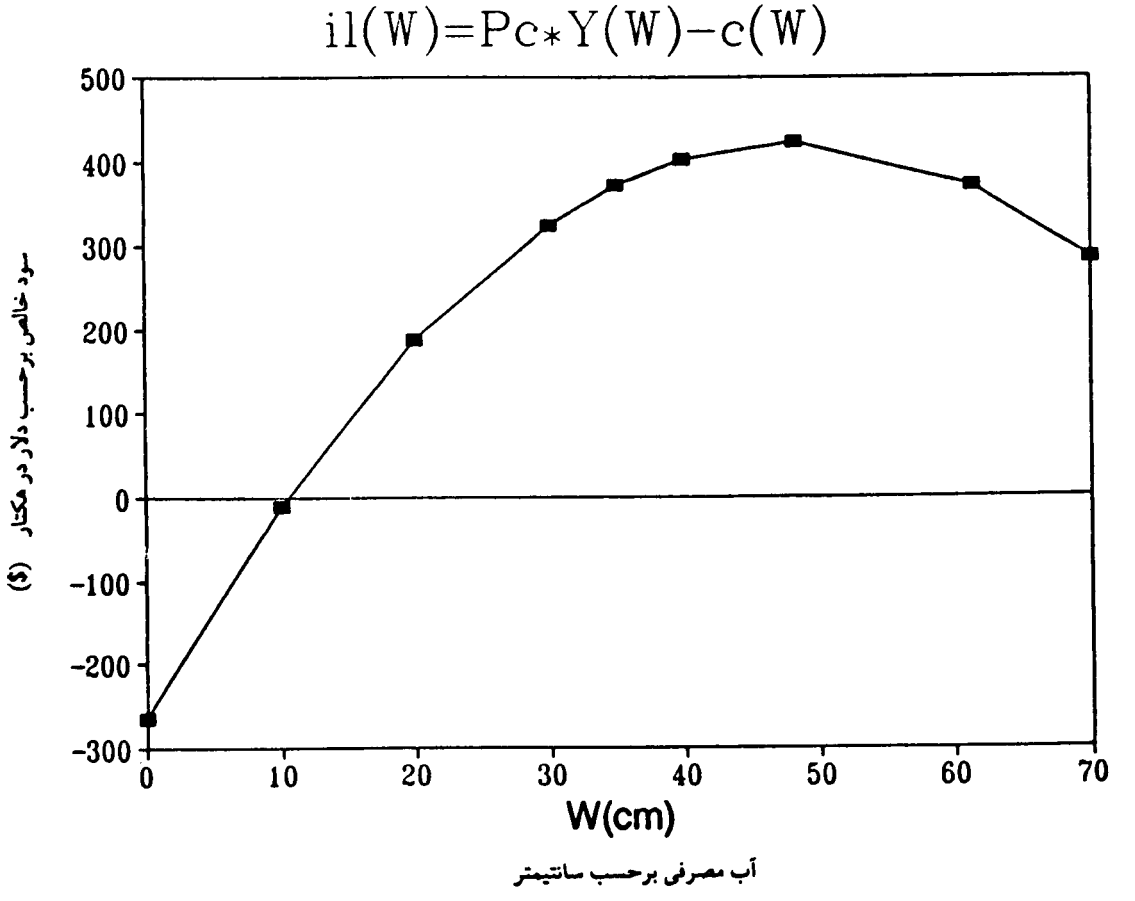
۳) میزان سودخالص با افزایش عمق آب مصرفی در ابتدا، روند صعودی داشته و پس به صورت نزولی در می‌آید.

۴) درحالت محدودیت منابع آب، با بکارگیری ۵۰ درصد ماکزیمم عمق آب مصرفی (۵۰٪ آبیاری کامل) سود خالص فقط ۱۳٪ کاهش می یابد.

۵) در ردیفهای ۱ و ۲ که سود خالص منفی گردیده است بدان معنی است که از ظرفیت سیستم و تجهیزات بطور کامل استفاده نشده است. در صورتیکه هزینه‌های مربوطه، تعهدگردیده است.

۶) دراین مثال شاخص مقایسه " عملکرد درواحد سطح" معیار مقایسه مناسبی نمی‌باشد، زیرا با توجه به جدول فوق، درحالت W_l = ۴۸/۲ سانتیمتر، میزان عملکرد ۸۵۴۰کیلوگرم درهکتار و در حالت W_m=۶۱/۵ سانتیمتر، میزان عملکرد ۸۸۸۶کیلوگرم در هکتار است اما سود خالص در حالت اول بیشتر است.


Y(W)=a1+b1*W+c1*W^2
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
10
20
30
40
50
60
70
W(cm)
عملکرد برحسب کیلوگرم در هکتار
آب مصرفی برحسب سانتیمتر


il(W)=Pc*Y(W)-c(W)
500
400
300
200
100
0
-100
-200
-300
0
10
20
30
40
50
60
70
W(cm)
سود خالص برحسب دلار در هکتار ($)
آب مصرفی برحسب سانتیمتر

۷) با بکارگیری عمق آب مصرفی معادل W_{el}=۳۵ سانتیمتر و W_m = ۶۱/۵ سانتیمتر سودخالص در هر دو حالت برابراست پس با توجه به شرایط این مثال منطقی است که عمق آب مصرفی ۳۵ سانتیمتر بکار رود. که این عمق، "(در رابطه با حداکثرسود)" عمق معادل آبیاری کامل" نامیده می‌شود.

۸) به هر شیوه‌ای که بتوان راندمان مصرف آب را بهبود بخشیده و سود خالص بیشتری را عاید کرد، و یا عملکرد را افزایش داد، هر یک در شرایط خود می‌تواند به عنوان یک تکنیک مدیریتی ، کاربرد داشته باشد.

نتیجه:

امروزه بحران آب، وانفجار جمعیت در دنیا و ایران و هشدارهای جدی کارشناسان خودی و بیگانه درمقیاس وسیعتر، مسؤلان اجرائی را بیش از پیش به تفکر وا داشته است، بطوریکه در سخنان بزرگان صنعت آب کشور، اخیراً و اندک و اندک، زمزمه‌های خوش آوائی در مورد استفاده حداکثر از واحد حجم آب بگوش می‌رسد که بهجت اثر است ولی هنوز این اعتقاد به حدو درجه ایمان نرسیده است لذا مخاطب این مقاله علاوه بر کارشناسان وطراحان (بویژه‌طراحان در مهندسان مشاور) این بزرگواران نیز هستند لذا بر صاحبنظران است که این سخن را مکرر بگویند، و ترجیع بندکم آبیاری تنظیم شده را تکرار نمایند.

امروزه طراحی، اجرا و مدیریت پروژه‌های آبیاری از سطح بهره‌وران کشاورز تا سطوح بالا، مهندسان مشاور، سازمانهای دولتی بر اساس معیارهائی کم آبیاری، که محتوای اصلی آن « استفاده حداکثر از واحد آبست»، امر ضروری است، ضرورتی که طی نیم قرن اخیر به بوته نسیان سپرده شده است. اینک پس از اینهمه تعلل و تاخیر زمان اقتدا به «کم آبیاری » و کاربرد بدون وقفه و وسیع آن فرا رسید ه است. دراین رابطه موارد زیر را توصیه می‌نماید:

۱- کاهش آب مورد نیاز محصولات (برمبنای آبیاری کامل)، به میزان حدود ۲۰٪ بعنوان فتوای کارشناسی ، نظری است که می‌توان آنرا از هم اکنون در طراحی‌ها اعمال نمود.

۲- درایران «اعمال کم‌آبیاری» باید بطور عمده، و ترجیحاً، مبتنی بر گسترش سطح کشت باشد ونه ذخیره سازی آب.

۳- در سطح بهره وران کشاورز، در ایران، آنان با توجه به خودکار بودن و قابلیت انعطاف سیستم‌های آبیاری تحت فشار، و با شم و تجربه‌ای که دارند، ومتناسب با شرایط واحد بهره‌برداری خود، دست به کم آبیاری می‌زنند که بشارت میمونی است و بسیار حائز اهمیت است، این شیوه آبیاری که جز و آبیاریهای نیمه کلاسیک طبقه بندی شده است (مقاله تحت عنوان «تبیین و تعریف واژه شناختی آبیاریهای کلاسیک، غیرکلاسیک و نیمه کلاسیک» نشریه سالانه کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ج - خیرابی - الف - اسدالهی ۱۳۷۴) که لازم است توجه ویژه‌ای بدان معطوف شود، واین روش حسنه تبلیغ و ترغیب گردد.

۴- لازم است پروژه‌های آبیاری در دفاتر فنی، و درشرکتهای مهندسان مشاور بر اساس «کم آبیاری تنظیم شده» طراحی شود (که در مقاله فوق الذکر جزو آبیاریهای کلاسیک طبقه بندی گردیده است).

شرایط فنی و ضوابط مهندسی اعمال «کم آبیاری تنظیم شده» در نشریه شماره یک و دو گروه آب مورد نیاز گیاهان و مدیریت محصولات زراعی کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، و در مقاله ای تحت عنوان «تحلیلی بر کم آبیاری، تعریف و تبیین انواع آن (ماهنامه آب، خاک و ماشین شماره ۱۳ - دیماه ۱۳۷۴ ج - خیرابی) آمده است، و خوانندگان محترم را به آن ارجاع می‌دهد.

۵- برای طراحی پروژه‌های آبیاری بر اساس «کم آبیاری تنظیم شده » و «بهینه سازی » (از نظر عملکرد ماگزیمم و یا سودخالص ماگزیمم، چه برای شرایط روز و چه برای شرایط آتی، علاوه بر معیارهای علمی، فنی و مهندسی متداول، که در طراحی «آبیاری کامل» نیز از آنهااستفاده می‌شود، لازم است افت عملکرد محصول به ازای درجات مختلف «کم آبیاری » بر اساس تحقیقات محلی معلوم گردد. سپس لازم است مشخص گردد که با آب صرفه‌جوئی شده چه مقدار اراضی را می‌توان تحت کشت قرار داد؟ وسپس حساب دخل و خرج آنها، هزینه‌ها و در آمدها ومحاسبات اقتصادی و «بهینه سازی » پروژه را چه از نظر میزان عملکرد، چه از نظر سوددهی ، و چه از نظر اقتصاد ملی و گسترش سطح کشت و یا ذخیره سازی آب، انجام داد و بر اساس مدلهای و توابع مربوطه سطح بهینه را مشخص کرد.

۶- اطمینان دارد در صورتیکه بهینه سازی براساس دستورالعملهای «کم آبیاری تنظیم شده» ، و براساس داده‌های تحقیقات محلی، و برپائی وتجزیه تحلیل توابع و منحنی‌های «مصرف آب- عملکرد» - «و مصرف آب- سود خالص» انجام پذیرد، در بسیاری موارد سطوح بهینه مصرف آب از «آبیاری کامل» بسیار فاصله خواهد گرفت و چه بسا حول وحوش ۳۰ تا ۵۰٪ میزان «آبیاری کامل» مستقر خواهد شد، و راندمان کارآئی آب بالا خواهد رفت و از واحد حجم آب حداکثر استفاده بعمل خواهد آمد.

فهرست منابع

۱- خیرابی جمشید - اسدالهی سیداسدا... «تعریف علمی و مهندسی آبیاری » . ماهنامه آب ، خاک و ماشین شماره۲- بهمن ۱۳۷۳.

۲- خیرابی جمشید - «تحلیلی بر کم آبیاری، تعریف و تبیین انواع آن» . ماهنامه آب، خاک و ماشین شماره ۱۳- دیماه ۱۳۷۴.

۳- خیرابی جمشید - اسدالهی سید اسدا... «تعریف و تبیین واژه شناختی آبیاریهای کلاسیک - غیر کلاسیک ونیمه کلاسیک» . سالنامه کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران ۱۳۷۳.

۴- خیرابی جمشید - انتصاری محمدرضا - توکلی علیرضا - سلامت علیرضا - «خلاصه مقالات کم آبیاری» - نشریه شماره یک گروه کار آب مورد نیازگیاهان و مدیریت محصولات زراعی -کمیته ملی آبیاری و زهکشی - گردآوری ، ترجمه و تدوین ، ۱۳۷۴.

۵- خیرابی جمشید - نداف حسن - «نظری به تاریخچه آبیاری ایران» ماهنامه آب ، خاک و ماشین شماره ۱۸ خرداد ۷۵.

۶- خیرابی جمشید و همکاران به ترتیب الفبا: انتصاری محمدرضا - توکلی علیرضا - سلامت علیرضا- نشریه شماره ۲ گروه آب مورد نیاز گیاهان و مدیریت محصولات زراعی -کمیته ملی آبیاری و زهکشی دستورالعملهای کم آبیاری ، گردآوری ، ترجمه و تدوین - ۱۳۷۵.

۷- فرزانه روح ا... علوم آبیاری متون درسی گروه آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

- Economic Consideration , by George h.Hargreaves, F.Asce & Zohrab A.Samani Journal of Irrigation and Drainage Engineering , vol.11o, NO.4, December, 1984

- English . M.J. 1990a , Deficit Irrigation: Analytical Framework j, ASCE, 116 (3) , 399 - 412